

第六章

波动

第6章 波动

波动 - 振动的传播 振动 - 波动的成因

波动的种类: 机械波 电磁波 物质波


波动的共同特征: 干涉 衍射 反射 折射

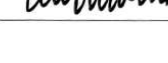
6.1 机械波的概念

机械波: 机械振动状态在弹性介质中传播的过程

产生条件: 波源 介质

横波和纵波:

横波: 质点振动方向(⊙)和波动的传播方向垂直 

纵波: 质点振动方向与波动传播方向平行 

简谐波: 各点均作简谐运动

波线, 波面, 波前 平面波 球面波

波长 λ 周期 T 频率 f 波速 $u = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$

固体能传播横、纵波, 液体只能传纵波

波速由弹性介质性质决定, 频率/周期则由波源的振动特

性决定

波动的特征: ①受迫振动 ②行波(能量传播)

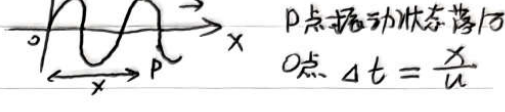
③沿波传播方向各质点的相位依次落后

6.2 简谐波

1. 平面简谐波和波函数

$$y_0(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

0点的振动方程



$$P: y(x, t) = y_0(t - \Delta t) = A \cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] \quad P \text{点振动方程 (正向)}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad T = \frac{\lambda}{u} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{波数})$$

$$\text{波函数 } v = \frac{\partial y}{\partial t} = -\omega A \sin[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] \quad \mu \text{波速}$$

$$a = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 A \cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] \quad v \text{振动速度}$$

1. $x \uparrow$ (传播方向上), 各质点的相位依次落后, 落后 $\frac{2\pi x}{\lambda}$

$$y(x, t) = A \cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi)$$

2. 波长 λ 标志着波空间上的周期性

相位差 波程差

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

$$y(t) = A \cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] \quad x \text{固定, } t \text{变量, } x \text{处不同时刻的位移}$$

$$t \text{固定, } x \text{变量, } t \text{时刻波上各质点位移}$$

$$y(t) = A \cos[\omega(t + \Delta t) - \frac{x + \Delta x}{u} + \varphi] \quad y \text{固定, } t \text{时刻 } x \text{处的振动状态, 经 } \Delta t$$

$$\text{传播到了 } x + \Delta x$$

6.4 惠更斯原理与波的传播

1. 惠更斯原理: 波前上的每点都可以看作是发射子波的波源

而在其后的任意时刻, 这些子波的包络就是新的波前

2. 波的衍射: 波在传播过程中遇到障碍物, 能绕过障碍物的

边缘, 在障碍物的阴影区内继续传播

明显衍射条件: 障碍物的尺寸跟波长相比拟

3. 波的反射和折射:

$$i' = i, \quad n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

6.5 波的干涉

1. 波的叠加原理 (独立性, 叠加)

2. 波的干涉: f 同, 振动方向同, 恒定相位差

$$S_1: \begin{matrix} r_1 \\ \nearrow \\ P: \end{matrix} \quad S_2: \begin{matrix} r_2 \\ \nearrow \\ P: \end{matrix} \quad \begin{matrix} y_0 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ y_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{matrix} \quad \begin{matrix} P: y_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1 - \frac{2\pi r_1}{\lambda}) \\ y_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2 - \frac{2\pi r_2}{\lambda}) \end{matrix}$$

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta \varphi} \quad \Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_1 - \frac{2\pi r_2}{\lambda} + \frac{2\pi r_1}{\lambda} = \varphi_2 - \varphi_1 - \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$$

$$\text{当 } \varphi_2 = \varphi_1 \text{ 时 } \Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) \quad \begin{cases} \Delta \varphi = (2k+1)\pi, A = |A_1 - A_2| \\ \Delta \varphi = 2k\pi, A = A_1 + A_2 \end{cases}$$

$$\text{强度 } I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \varphi$$

$$\text{波程差 } \delta = r_1 - r_2$$

$$\begin{cases} \delta = k\lambda, A = A_1 + A_2 \\ \delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, A = |A_1 - A_2| \end{cases}$$

3. 驻波

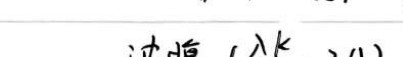
两列振幅相同的相干简谐波相反方向叠加而成

$$\text{驻波方程 } y = 2A \cos(\frac{2\pi}{\lambda} x) \cos(2\pi \nu t)$$

$$y_1 = A \cos(2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})) \quad y_2 = A \cos(2\pi(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}))$$

$$A = 2A \cos(2\pi x / \lambda) \quad \text{波节 } ((2k+1)\frac{\lambda}{4}, 0) \quad \text{波节间距 } \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{波腹 } (\frac{\lambda k}{2}, 2A) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$



半波损失

驻波实验中, B 始终为波节, 即入射与反射波在此相

位相反, 在 B 点反射时发生了 π 的相位突变, 称半波损失

波密介质: ρu 较大 (密度 \times 波速)

波疏介质: ρu 较小

波密介质 $\xrightarrow{\text{反射有}} \xleftarrow{\text{反射有}}$ 波疏介质

驻波方程

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \quad \nu_n = n \frac{\nu}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$n=1 \text{ 基频 } \quad n=2 \text{ 二次谐波 } \quad n=3 \text{ 三次谐波}$$

6.6 多普勒效应

观察者所观测到的频率, 取决于观察者在单位

时间内接收到完整波长的数目. $\nu = \frac{u}{\lambda}$

ν_0 : 人相对介质, 静止为正

ν_s : 波源相对介质, 运动为负

ν : 波源的实际频率

ν' : 人感觉到的频率

1. 波源观察者均静止

$$\nu_0 = \nu_s$$

2. 波源静止, 观察者动

$$\text{波相对观察者: } \mu + \nu_0$$

$$\nu' = \frac{\mu + \nu_0}{\lambda} \quad \nu' = (1 \pm \frac{\nu_0}{\mu}) \nu$$

3. 观察者静止, 波源动

$$\lambda' = (\mu - \nu_s) T \quad \nu' = \frac{\mu}{\mu - \nu_s} \nu$$

$$\nu' = \frac{\mu}{\mu \mp \nu_s} \nu$$

4. 同时动

$$\nu' = \frac{\mu \pm \nu_0}{\mu \mp \nu_s} \nu$$

ν_0 观察者向波源运动+, 远离-

ν_s 波源向观察者运动-, 远离+

↑

↑

↑

感觉

真速度

实际频率

振动和波动的区别

1. 研究对象不同

2. 力的来源不同

振动: 单个质点

振动: 回复力, 各性质力均可

波动: 各个质点, 传播

波动: 总是联系介质各质点的弹力

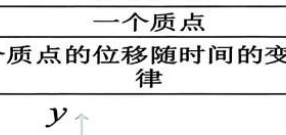
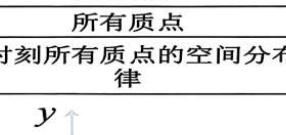
3. 运动性质不同

4. 振动速度和波速

振动: 变加速运动

$$\begin{cases} v_{\text{振}} = \frac{\partial y}{\partial t} = -\omega A \sin[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi] \\ v_{\text{波}} = u = \frac{\partial x}{\partial t} \end{cases}$$

波动: 匀速

区别	振动图像	波动图像
研究对象	一个质点	所有质点
研究内容	一个质点的位移随时间的变化规律	不同时刻所有质点的空间分布规律
图像		
横坐标	时间	空间位置
物理意义	一个质点在各个时刻的位移	不同时刻各个质点的位移
一个完整曲线占横坐标的距离	T	λ